

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، شرق بندرعباس با استفاده از شاخص‌های مختلف

مهرشاد بهادر^{۱*}، عباس مرادی^۲، ابوالفضل ناجی^۳

۱. کارشناس ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین

۲. برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق ساحلی، دانشگاه هرمزگان

۳. علوم طبیعی و محیط زیست، مرکز مطالعات جنگل‌های حرا، دانشگاه هرمزگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۲۰

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2016.32080](https://doi.org/10.22113/jmst.2016.32080)

چکیده

فلزات سنگین به علت اثرات سمی در محیط، تجمع زیستی در آبزیان و ایجاد بزرگ‌نمایی زیستی در زنجیره‌های غذایی اهمیت ویژه‌ای دارند. این مطالعه فلزات نیکل، روی، سرب و آهن در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور به‌منظور تعیین غلظت و ارزیابی وضعیت آلودگی را مورد بررسی قرار داده است. لذا، برای تعیین درجه آلودگی و کیفیت زیست‌محیطی رسوبات منطقه، نمونه‌های رسوب سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) از ۴ ایستگاه جمع‌آوری شدند. در هر ایستگاه، سه نمونه رسوب سطحی جمع‌آوری و غلظت فلزات سنگین با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی شعله اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌هایی همچون شاخص بار آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیکی برای هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری و منطقه مورد مطالعه برآورده شده است. نتایج PLI نشان داد که بار یا غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه است و آلودگی خاصی ایجاد نمی‌کنند. تمام ایستگاه‌ها نیز ریسک اکولوژیکی کمی داشتند. همچنین مقادیر متوسط فلزات سنگین مذکور در منطقه مورد مطالعه با استانداردهای کیفیت رسوب مقایسه شده‌اند. مقادیر نیکل از حد معمول این استانداردها در هر دو سطح تجاوز نموده و اثرات مضر زیادی برای آبزیان و جوامع بیولوژیک دارد؛ در حالی که غلظت فلزات روی و سرب در رسوبات منطقه مورد مطالعه تهدید خاصی برای موجودات مختلف ایجاد نمی‌کنند. در ادامه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و آنالیز خوشه‌ای، میزان ارتباط و همبستگی بین مقادیر فلزات مذکور بررسی شد. حداکثر مقدار همبستگی، بین فلزات آهن و نیکل ($r=0.838$; $p<0.01$) بود. جفت فلزات نیکل و آهن، آهن و سرب و همچنین نیکل و سرب، همبستگی مثبت و بالایی داشتند که مبین تشابه و ارتباطات آماری احتمالی زوج عناصر در منطقه مورد بررسی است؛ در حالی که روی همبستگی‌های معنی‌داری با این فلزات نشان نداد. با این وجود، به دلیل توسعه سریع شهرنشینی و صنعتی بندرعباس، پایش آلودگی فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی به سبب اهمیت اکولوژیکی آن به‌صورت مداوم ضروری می‌باشد.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mehrshadbahador@gmail.com

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، بندرعباس، آلودگی، رسوب

۱. مقدمه

آلودگی محیط ناشی از فلزات سنگین اکنون به عنوان مشکلی جهانی محسوب می شود (Nriago & Pacyna, 1988). در میان هزاران ماده آلی و غیرآلی که وارد زیست بوم های آبی می شوند، فلزات سنگین با توجه به مقدار سمیت، پایداری، تجزیه ناپذیر بودن و توانایی تجمع زیستی شان در بسیاری از گونه های دریایی از اهمیت بالایی برخوردارند (Ghrefat & Yusuf, 2006; Khaled *et al.*, 2006). این عناصر از راه های مختلف مانند فاضلاب های شهری و صنعتی، شسته شدن و حمل مواد شیمیایی از مناطق مختلف شهری، فعالیت های کشاورزی و ته نشست اتمسفری وارد محیط های آبی می شوند (Mucha *et al.*, 2003; De Mora & Sheikholeslami, 2002). از آنجایی که آلاینده ها در رسوبات برای مدت های طولانی باقی می ماندند (Casas *et al.*, 2003) می توانند منعکس کننده تاریخچه آلودگی های یک اکوسیستم آبی باشند (Singh *et al.*, 2005). این رسوبات محل تجمع انواع آلاینده های ورودی به سواحل هستند که از این میان، فلزات سنگین به دلیل اثرات زیانبار بر روی زیست بوم ها و ماندگاری بسیار زیاد از اهمیت زیادی برخوردارند (Berkowitz *et al.*, 2008). علاوه بر این، تجمع یا آزاد شدن فلزات در رسوبات تا حد زیادی توسط ژئوشیمی آنها، به ویژه، نوع و مقدار مواد آلی، اندازه دانه و ظرفیت تبادل کاتیونی کنترل می شود (Vertacnik *et al.*, 1995). اثرات زیست محیطی زیانبار فلزات سنگین، آنها را به یکی از مباحث اصلی مورد بررسی در تحقیقات زیست محیطی تبدیل کرده است (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). از این رو توجه بسیاری از محققین به بررسی اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر روی اکوسیستم های گوناگون جلب شده است.

Liu و همکاران (2013) غلظت های فلزات سنگین در دریاچه شرقی چین را بررسی کردند. تجزیه و تحلیل شاخص ریسک اکولوژیکی بالقوه نشان داد که آرسنیک، کادمیوم و جیوه ریسک اکولوژیکی قابل توجه یا بالایی داشتند، در حالی که کروم، نیکل، مس، روی و سرب ریسک اکولوژیکی کمی داشتند. همچنین بر اساس SQGs، نتایج نشان داد که غلظت های میانگین نیکل، روی، بین مقادیر طیف کم و مقادیر طیف بالا بودند. اگر چه غلظت های سرب زیر مقادیر طیف کم بودند و به ندرت ممکن است سمیت ایجاد کند. Naji و Ismail (2012) بر اساس معیار PLI دریافتند، ایستگاه هایی که در نزدیکی مناطق شهری و صنعتی قرار گرفته بودند بالاترین مقادیر را داشتند و زوال تدریجی کیفیت رسوب را نشان دادند. در مطالعه Wu و همکاران (2011)، نتایج PLI نشان داد که تقریباً تمام ایستگاه ها دارای وضعیت غیرآلوده بود؛ PLI نشان داد که ناحیه مورد مطالعه در مجموع دارای وضعیت غیرآلوده است؛ همچنین RI برای ارزیابی درجه آلودگی و سطح آلودگی در مناطق مختلف، منعکس کننده سطح آلودگی کم در رسوبات سطحی بود. براساس مقادیر شاخص ریسک اکولوژیکی در مطالعه Jamshidi Zanjani و Saidi (2013) فلزات سنگین در مناطق شرقی و جنوب شرقی تالاب انزلی ریسک اکولوژیکی بالایی داشتند.

در این مطالعه نیز فلزات نیکل، روی، سرب و آهن در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور به منظور تعیین وضعیت آلودگی و کیفیت زیست محیطی رسوبات منطقه و همچنین ارتباط غلظت های این فلزات با برخی مشخصه های فیزیکوشیمیایی رسوبات مورد بررسی قرار گرفتند.

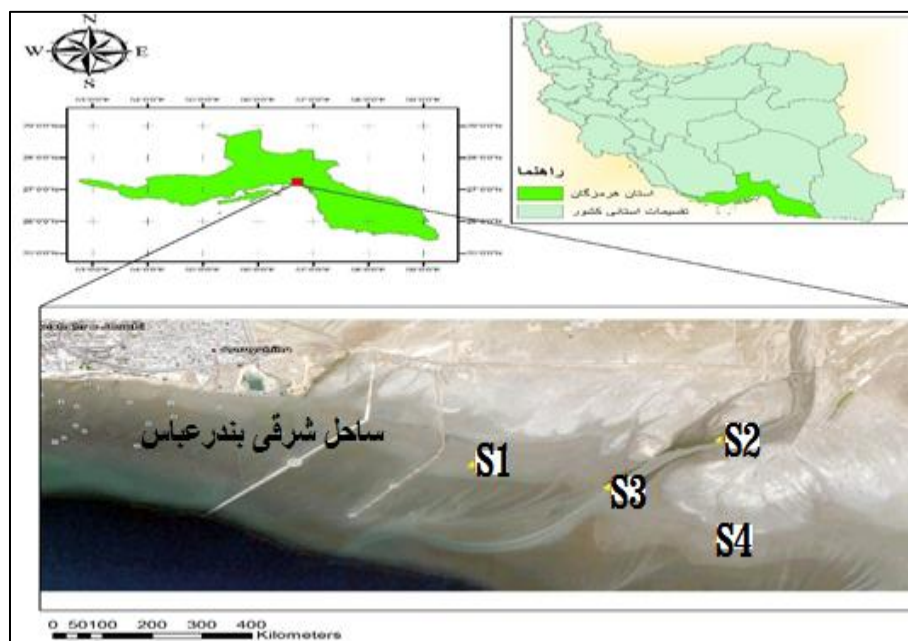
۲. مواد و روش ها

این تالاب بین‌المللی ($27^{\circ} 05' N$ و $56^{\circ} 45' E$)، از مناطق مهم دارای جنگل‌های مانگرو در استان هرمزگان می‌باشد، که در سال ۱۳۵۴ (۱۹۷۵ میلادی) به‌عنوان تالاب بین‌المللی در کنوانسیون رامسر به ثبت رسید و در سال ۱۳۸۰ به‌عنوان منطقه حفاظت شده تیاب و میناب مصوب گردید. اقلیم منطقه حاره‌ای تا نیمه‌حاره‌ای بوده و درجه حرارت آن در تابستان به ۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بارش سالانه ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بین ماه‌های آبان تا فروردین می‌باشد. درختان حرا (*Avicennia marina*) و سواحل کم‌عمق، زیستگاه مناسبی برای پرندگان، تخم‌ریزی و پرورش نوزادان ماهیان تجاری، سخت‌پوستان، میگوها، صدف‌ها، دوکفه‌ای‌ها و سایر آبزیان بوده و از نظر شیلاتی و صید ماهیان و سخت‌پوستان دارای اهمیت به‌سزایی می‌باشد (Department of Environment (DOE), Branch of Hormozgan province, 2009).

منطقه مورد مطالعه، شرق شهر صنعتی بندرعباس، در ساحل شمالی روبه‌روی جزیره هرمز در دهانه رود شور (محدوده تالاب بین‌المللی مصب رودخانه‌های شور، شیرین و میناب) واقع شده است. در جدول ۱ و شکل ۱، موقعیت استان هرمزگان، منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در مصب رودخانه شور نشان داده شده است.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	مختصات جغرافیایی
ایستگاه ۱	$27^{\circ} 10' 44.07'' N$ $56^{\circ} 22' 45.32'' E$
ایستگاه ۲	$27^{\circ} 10' 56.61'' N$ $56^{\circ} 23' 49.44'' E$
ایستگاه ۳	$27^{\circ} 10' 36.47'' N$ $56^{\circ} 23' 20.182'' E$
ایستگاه ۴	$27^{\circ} 10' 16.21'' N$ $56^{\circ} 23' 49.34'' E$



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوبات

تحت تاثیر منابع آلاینده گوناگون خصوصا عناصر سنگین قرار دارد (Agah et al., 2010). آلودگی‌های حاصل از فعالیت‌های انسانی کشورهای مجاور به طور

خلیج فارس به دلیل ویژگی‌های اکولوژیکی خاص خود و محدودیت‌های جغرافیایی حاکم بر آن و همچنین وجود فعالیت‌های گوناگون انسانی در دریا و ساحل، همواره

وجود دارد، که آلاینده‌ها و فاضلاب‌های شهر بندرعباس را به دریا منتقل می‌کنند و باعث آلودگی دریا می‌شود. منابع آلاینده این خورها، زباله‌های جامد و پسماندهای خانگی و فاضلاب‌های ناشی از فعالیت‌های مختلف می‌باشد. همچنین به آلودگی ناشی از مصرف سوخت توسط اتومبیل‌ها و واحدهای صنعتی کوچک و آلودگی‌های ناشی از صنایع گسترده غرب بندرعباس مانند نیروگاه بندرعباس، کارخانه کشتی‌سازی، پالایشگاه هشتم بندرعباس، شرکت تولید سرب و روی قشم واقع در منطقه آزاد تجاری و ... هم می‌توان اشاره‌ای نمود. همچنین عمده‌ترین بنادر تجاری کشور (بندر شهید رجایی، بندر شهید باهنر و همچنین منطقه آزاد قشم) در استان هرمزگان قرار دارند. آلودگی‌های تولید شده توسط منابع مختلف، می‌توانند توسط آب و جریانات آبی و یا حتی توسط نشست اتمسفری به منطقه مورد مطالعه انتقال یابند و مشکلات زیست‌محیطی مطرح نمایند.

برای بررسی آلودگی رسوبات، نمونه‌های رسوب سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) از ۴ ایستگاه در بهمن ماه به صورت نمونه‌برداری منظم با فاصله ۱۰۰۰ متر بین ایستگاه‌ها، در مصب رودخانه شور جمع‌آوری شد. طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استفاده از سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) اندازه‌گیری شد. برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری‌ها، در هر ایستگاه، سه نمونه رسوب سطحی، با تراشیدن لایه سطحی با استفاده از قاشق پلاستیکی تمیز جمع‌آوری شد. رسوبات سطحی هر نمونه در کیسه‌های پلاستیکی در یک جعبه یخ نگهداری می‌شدند. به محض این که کار میدانی به پایان رسید، نمونه‌ها به آزمایشگاه شیلات دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس منتقل و در فریزر در دمای 20°C - برای مراحل هضم آینده ذخیره شد (Delman et al., 2006). برای آنالیز، مقداری از نمونه‌ها با استفاده از آون هوای سیار در 80°C خشک و سپس

مستقیم وارد خلیج فارس می‌گردد و شدیداً محیط‌زیست دریایی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. منبع عظیم آلوده‌کننده دیگر اکوسیستم در خلیج فارس نفت می‌باشد؛ حدود بیش از ۳۰ درصد تولید نفت جهان و بیش از ۶۰ درصد حمل و نقل نفت دنیا از طریق خلیج فارس صورت می‌گیرد (Reynolds, 1993). به طور کلی شناورها، نفتکش‌ها، اسکله‌های نفتی، اکتشافات نفتی و پساب‌های صنایع همجوار با دریا و نیز رودخانه‌های منتهی به دریا، آلاینده‌های مربوط به مواد نفتی و فلزات سنگین را وارد دریا می‌کنند. از طرف دیگر فجایی که در جنگ خلیج فارس اتفاق افتاده شوک‌های عظیم زیست‌محیطی بر این دریا تحمیل کرده است. در شمال تنگه هرمز نیز صنایع مستقر در ساحل و پساب‌های آنها و نیز فاضلاب‌های شهری خطر آلودگی دریا را افزایش می‌دهد. در قسمت‌های دیگر خلیج فارس مانند بوشهر با راه اندازی پروژه‌های مهم پارس جنوبی مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را در آینده باعث می‌شود.

از عمده‌ترین منابع آلاینده موجود در منطقه مورد مطالعاتی نیز می‌توان به آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های آبی‌پرووری اشاره کرد که در نزدیکی منطقه مورد مطالعه و در محدوده تالاب بین‌المللی چندین استخر پرورش ماهی و میگو قرار دارد. کودهای غیرآلی که در آبی‌پرووری استفاده می‌شود، حاوی عناصر کمیابی از قبیل مس، روی، منگنز، آهن، بر و مولیبدن هستند (Alizadeh, 2008). همچنین می‌توان به پارکینگ دریابانی نیروی انتظامی، تردد شناورها در منطقه، ورود افراد به درون منطقه (توریسم) و همچنین صید ماهی و میگو توسط لنج‌ها و قایق‌ها اشاره کرد. در این موارد نیز به دلیل استفاده از سوخت در شناورها و مواد روغنی که حاوی فلزات سنگین از جمله نیکل و سرب هستند، امکان آلودگی وجود دارد. به دلیل نزدیکی منطقه مورد مطالعه به شهر بندرعباس، آلودگی‌های این شهر نیز می‌تواند روی منطقه اثرگذار باشد. در حوضه شهر بندرعباس چند خور و مسیرهای عبور فاضلاب شهری

سطحی به روش هیدرومتری تعیین شد (Jafari Haghighi, 2003). و از آنجایی که کربن آلی نقش مهمی در چرخه‌های ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب که در رسوبات انباشته شده است را دارد، ممکن است به عنوان یک شاخص محیط رسوبی و فرآیندهای رسوبی استفاده شود (Seralathan *et al.*, 1993; Wu *et al.*, 2011). از این رو درصد مواد آلی کل نیز اندازه‌گیری شد (Tam & Wong, 2000). برای بالا بردن دقت، این اندازه‌گیری‌ها نیز در هر ایستگاه سه بار انجام شد. در خصوص پراکنش مکانی آلاینده‌ها تاکید ویژه‌ای بر روی مطالعه و ارزیابی ریسک براساس فلزات سنگین در مناطق ساحلی وجود دارد (McGraph *et al.*, 2004; Steiger *et al.*, 1996). آنالیز تراز آلودگی و اثرات بیولوژیکی با مقایسه ساده آن‌ها بر اساس فلزات سنگین قابل انجام است (Kwon & lee, 1998). در این مطالعه به بررسی اثرات فلزات سنگین (نیکل، روی، سرب و آهن) در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور در شرق بندرعباس با استفاده از تحلیل‌های گوناگون ارزیابی ریسک اکولوژیک پرداخته شده است. PLI توسط Tomlinson و همکاران (1980) به منظور درک وضعیت آلودگی فلزات سنگین مطرح شده است و با استفاده از غلظت فلزات سنگین و زمینه طبیعی و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$PLI = \sqrt[n]{CF1 \times CF2 \times CF3 \times \dots \times CFn} \quad (1)$$

که CF ضریب آلودگی رسوبات به فلزات مختلف می‌باشد. ضریب آلودگی از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه (رابطه ۲) به دست می‌آید (Abraham & Parker, 2008 Adomako *et al.*, 2008).

$$CF = C_{\text{surface}} / C_{\text{reference}} \quad (2)$$

که در آن C_{surface} و $C_{\text{reference}}$ به ترتیب غلظت فلز سنگین در رسوبات آلوده و رسوبات پایه (میانگین شیل) (Turekian & Wedepohl, 1961)، یا رسوبات مربوط

با الک با اندازه چشمه ۶۳ میکرومتر الک شدند. سپس نمونه‌ها در ظروفی که از قبل با اسید شسته شده بودند برای استفاده آینده نگهداری شدند. برای تعیین غلظت فلزات (نیکل، روی، سرب و آهن)، حدود ۰/۵ تا ۱ گرم رسوبات خشک شده در ۱۰ میلی-لیتر محلول مخلوط اسید نیتریک غلیظ HNO_3 (AnalaR grade, R&M 65%) و اسید پرکلریک $HClO_4$ (AnalaR grade, R&M 70%) در نسبت ۴:۱ به درون لوله آزمایش ریخته شدند. برای هضم اولیه، نمونه‌ها در دمای پایین ($40^\circ C$) به مدت ۱ ساعت و سپس برای هضم کامل، در $140^\circ C$ به مدت ۳ ساعت هضم شدند (Naji & Ismail, 2012; Ismail, 1993). نمونه‌های هضم شده با ۴۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر رقیق شده و از طریق کاغذ فیلتر Whatman No.1 به درون بالن‌های حجمی ۵۰ میلی‌لیتری از قبل تمیز شده فیلتر شدند. عصاره نمونه‌ها برای اندازه‌گیری غلظت فلزات با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی شعله (SpectrAA Model VARIAN240) ساخت کشور آمریکا استفاده شدند. برای جلوگیری از آلودگی‌های نامشخص، تمام تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده را دو بار با آب دو بار تقطیر (DDW) شستشو داده و در HNO_3 ۱۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت گذاشته شد. سپس تمام تجهیزات دو بار با آب دو بار تقطیر شسته و برای خشک شدن در دمای اتاق نیمه باز گذاشته شدند. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین به وسیله جذب اتمی، ابتدا با استفاده از محلول-های استاندارد آماده شرکت مرک آلمان دستگاه جذب اتمی کالیبره شد و دستگاه آماده معرفی نمونه‌های رسوب به دستگاه شد. برای بالا بردن دقت، اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در هر ایستگاه سه بار انجام شد. همچنین، برخی از مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی در رسوبات مانند درصد ذرات ریز دانه (درصد سیلت و رس) و درصد مواد آلی کل در ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری شدند. توزیع اندازه ذرات در رسوبات

فلزات سنگین نام دارد، برای جیوه = ۴۰، کادمیوم = ۳۰، آرسنیک = ۱۰، مس = سرب = نیکل = ۵، کروم = ۲، روی = ۱ ارائه داده است (Liu et al., 2013). این پارامتر بیانگر پاسخ سمیت آلاینده نسبت به میزان تولیدات زیستی در آن منبع آبی است. در یک منبع آبی، حساسیت فون و فلور آن منبع نسبت به آلاینده‌ها شدیداً تحت کنترل تولیدات زیستی قرار می‌گیرد به طوری که اثرات منفی فلزات سنگین با کاهش تولیدات زیستی، افزایش می‌یابد (Bowen, 1966). برای تحلیل مقادیر به دست آمده گروه‌های مختلف تعریف می‌شود که در جدول ۲ مشاهده می‌شوند.

یکی از راه‌های ارزیابی کیفی رسوبات دریایی استفاده از دستورالعمل‌های راهنمای کیفیت رسوب می‌باشد، که در آن داده‌های به دست آمده از منطقه با مقادیر SQGs مقایسه می‌شود و معیارهای مورد استفاده در آن براساس پاسخ‌های بیولوژیک موجودات به شرایط آلاینده می‌باشد.

به قبل از صنعتی شدن است. مقادیر میانگین شیل برای فلزات نیکل ۶۸ میکروگرم بر گرم، روی ۹۵ میکروگرم بر گرم و سرب ۲۰ میکروگرم بر گرم است. اگر PLI نزدیک به عدد یک باشد، نشان‌دهنده این است که بار یا غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه و اگر بیش از یک باشد نشان‌دهنده این است که رسوب آلوده می‌باشد (Adomako et al., 2008; Qishlag et al., 2007). برای به دست آوردن ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین از رابطه ۳ استفاده شد (Hakanson, 1980):

$$CF = C_{\text{surface}} / C_{\text{reference}} \quad (3)$$

$$E_f^i = CF \times T_f$$

$$RI = \sum_f E_f$$

که در این معادله C_{surface} غلظت فلز سنگین در نمونه و $C_{\text{reference}}$ مقادیر زمینه فلزات می‌باشد و E_f^i پتانسیل ریسک اکولوژیکی هر یک از عناصر و RI پتانسیل ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. هاکنسون (1980) مقدار T_f را که فاکتور پاسخ سمیت

جدول ۲: محدوده تغییرات RI و E_f^i میزان ریسک اکولوژیکی (هاکنسون، 1980)

سطح کلی ریسک اکولوژیکی	مقادیر RI	سطح ریسک اکولوژیکی هر عامل آلودگی	مقادیر E_f^i
ریسک اکولوژیکی کم	$RI < 150$	ریسک اکولوژیکی کم	$E_f^i < 40$
ریسک اکولوژیکی متوسط	$150 \leq RI < 300$	ریسک اکولوژیکی متوسط	$40 \leq E_f^i < 80$
ریسک اکولوژیکی قابل توجه	$300 \leq RI < 600$	ریسک اکولوژیکی قابل توجه	$80 \leq E_f^i < 160$
ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد	$RI \geq 600$	ریسک اکولوژیکی زیاد	$E_f^i < 320$
		ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد	$E_f^i \geq 320$

کیفیت رسوب آمریکا^۱ (NOAA) اشاره نمود (Long & Morgan, 1990).

به‌منظور درک مناسب از ارتباطات آماری غلظت فلزات مختلف، در این بخش نتایج حاصل از قرائت آلاینده‌ها در رسوبات مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته

یکی از اهداف کلیدی توسعه راهنماهای کیفیت رسوبات، پیشگویی و به حداقل رساندن خطر ناشی از آلاینده‌ها برای جانداران می‌باشد. بنابراین فهمیدن ارتباط بین غلظت فلز در رسوبات و میزان آلودگی ناشی از آلاینده‌ها برای جانداران موجود در یک اکوسیستم، لازم و ضروری می‌باشد (Spencer & Macleod, 2002). از متداول‌ترین استانداردها می‌توان به استاندارد

^۱ National Oceanic & Atmospheric Administration

عبارت دیگر، هدف اصلی استفاده از آنالیز خوشه‌ای تعیین گروه‌های مشابه آلاینده‌های مورد مطالعه است، تا براساس آن بتوان از منابع آلاینده‌ها و تفکیک آنها ارزیابی اولیه انجام داد. درک این روابط می‌تواند در تشخیص منبع عنصر و چگونگی انتقال آن در محیط آبی مفید باشد.

۳. نتایج

مقادیر محاسبه شده ضریب آلودگی و شاخص بار آلودگی فلزات نیکل، روی و سرب در ایستگاه‌های مطالعاتی مصب رودخانه شور در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به مقادیر PLI در تمام ایستگاه‌ها در جدول ۳، ترتیب PLI در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۱ < ایستگاه ۴ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۳ می‌باشد؛ که بیشترین مقدار این شاخص در ایستگاه ۱ (۰/۸۹) و کمترین آن در ایستگاه ۳ (۰/۵۴) می‌باشد. مقدار میانگین PLI (۰/۷۸) در ایستگاه‌های مطالعاتی نیز کمتر از یک می‌باشد. با تقسیم‌بندی صورت گرفته،

جدول ۳: مقادیر CF و PLI رسوبات سطحی در منطقه مورد مطالعه

PLI	CF			
	Pb	Zn	Ni	
۰/۸۹	۰/۳۱	۱/۹۵	۱/۱۶	ایستگاه ۱
۰/۸۵	۰/۴۵	۱/۱۹	۱/۱۵	ایستگاه ۲
۰/۵۴	۰/۱	۱/۸۵	۰/۸۷	ایستگاه ۳
۰/۸۶	۰/۳۹	۱/۱۷	۱/۳۹	ایستگاه ۴
۰/۸۹	۰/۴۵	۱/۹۵	۱/۳۹	بیشینه
۰/۵۴	۰/۱	۱/۱۷	۰/۸۷	کمینه
۰/۷۸	۰/۳۱	۱/۵۴	۱/۱۴	میانگین

مقادیر PLI کمتر از یک نشان‌دهنده این است که بار یا غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه است و آلودگی خاصی ایجاد نمی‌کنند.

مقادیر محاسبه شده شاخص ریسک اکولوژیکی فلزات نیکل، روی و سرب در ایستگاه‌های مطالعاتی مصب

است. برای این منظور پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، برای تعیین ضرایب همبستگی پیرسون^۱ داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS. 21 استفاده شد (Acosta et al., 2009). نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف اسمیرنف^۲ انجام گردید ضرایب همبستگی پیرسون برای تعیین روابط بین عناصر مختلف استفاده شده است. تشخیص ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی کمک کند. سپس مقادیر محاسبه شده از این ضرایب برای توسعه دیاگرام آنالیز خوشه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است.

در این مطالعه به منظور منشاء‌یابی آماری عناصر، آنالیز خوشه‌ای (Adamo et al., 2005) استفاده شد. آنالیزهای آماری چند متغیره مانند خوشه‌ای (CA) از جمله ابزارهای مناسب سنجش رابطه بین مجموعه اطلاعات و تفسیر هرچه بهتر داده‌های آنالیز شده در منطقه مورد مطالعه به‌شمار می‌روند (Spanos et al., 2008; Varol, 2011). آنالیز آماری CA از پرکاربردترین و موثرترین آنالیزهای آماری برای کاهش ابعاد متغیرها در مجموعه داده‌ها محسوب می‌شوند که در مطالعات آلودگی فلزات سنگین در سطح دنیا بسیار استفاده شده است (Wei et al., 2010; Varol, 2011; Spanos et al., 2008; Casado-Martinez et al., 2009; Khedhiri et al., 2011; Gargouri, 2011; Choueri et al., 2009). هدف اصلی در تشکیل گروه‌ها در آنالیز خوشه‌ای این است که متغیرهایی که همبستگی بسیاری با یکدیگر دارند در گروه مجزا قرار گیرند، که این گروه با گروه‌های شکل یافته دیگر بی‌ارتباط خواهد بود. هرچه شباهت یا اختلاف متغیرها بیشتر باشد، خوشه‌های متمایزتری شکل خواهد یافت. تشکیل خوشه‌ها بر مبنای محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون بین متغیرها در مجموعه اطلاعات استوار است. به

¹ Pearson Correlation

² Kolmogorov-Smirnov

دهنده این است که، بیشترین مقدار E_f^i سرب مربوط به ایستگاه ۲ (۲/۲۵) و کمترین آن مربوط به ایستگاه ۳ (۰/۵) می‌باشد. مقادیر این شاخص برای فلز سرب در ایستگاه‌های ۲ و ۴ بیشتر از میانگین (۱/۵۶) این شاخص در تمام ایستگاه‌هاست و در ایستگاه‌های ۱ و ۳ کمتر از میانگین این شاخص است. ترتیب E_f^i سرب در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۲ < ایستگاه ۴ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۳ می‌باشد. با توجه به مقادیر E_f^i برای فلز سرب و رده‌بندی هاکانسون (1980)، برای همه ایستگاه‌ها مقادیر این شاخص دارای ریسک اکولوژیکی کم ($E_f^i < 40$) است.

با مراجعه به جدول ۴، بیشترین مقدار شاخص ریسک اکولوژیکی (RI) مربوط به ایستگاه ۴ (۱۰/۰۷) و کمترین مقدار این شاخص مربوط به ایستگاه ۳ (۶/۷) می‌باشد. ترتیب RI در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۴ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۳ است. مقادیر این شاخص برای فلزات مدنظر در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۴ بیشتر از میانگین (۸/۵۱۵) این شاخص در تمام ایستگاه‌هاست و در ایستگاه ۳ کمتر از میانگین این شاخص است. با توجه به رده‌بندی هاکانسون (1980) و مقادیر بدست آمده RI، تمام ایستگاه‌ها دارای ریسک اکولوژیکی کمی ($RI < 150$) می‌باشند.

همان‌طور که بیان شد، علاوه بر استفاده از شاخص‌های مطرح شده برای تعیین میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین، باید میزان غلظت عناصر در منطقه مورد نظر با استاندارد ملی یا بین‌المللی شناخته شده، مقایسه شود. در کشور ما، به دلیل عدم وجود استاندارد خاصی برای تعیین درجه آلودگی رسوب، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. با مراجعه به استانداردهای موجود در جدول ۵ و میانگین غلظت‌های فلزات در همین جدول، میانگین غلظت نیکل بالاتر از استانداردهای ERL (۲۰/۹ ppm) و ERM (۵۱/۶ ppm) است؛ میانگین غلظت روی کمتر از استانداردهای ERL (۱۵۰ ppm) و

رودخانه شور در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به این مقادیر، بیشترین مقدار E_f^i مربوط به ایستگاه ۴ (۶/۹۵) و کمترین آن مربوط به ایستگاه ۳ (۴/۳۵) می‌باشد. مقادیر این شاخص برای فلز نیکل در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۴ بیشتر از میانگین (۵/۷۱) این شاخص در تمام ایستگاه‌هاست و در ایستگاه ۳ کمتر از میانگین این شاخص است. ترتیب E_f^i نیکل در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۴ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۳ می‌باشد. با توجه به مقادیر E_f^i برای فلز نیکل و رده‌بندی هاکانسون (1980)، برای همه ایستگاه‌ها مقادیر این شاخص دارای ریسک اکولوژیکی کم ($E_f^i < 40$) است.

جدول ۴: مقادیر RI رسوبات سطحی در منطقه مورد مطالعه

RI	E_f^i			
	Pb	Zn	Ni	
۹/۳	۱/۵۵	۱/۹۵	۵/۸	ایستگاه ۱
۹/۱۹	۲/۲۵	۱/۱۹	۵/۷۵	ایستگاه ۲
۶/۷	۰/۵	۱/۸۵	۴/۳۵	ایستگاه ۳
۱۰/۰۷	۱/۹۵	۱/۱۷	۶/۹۵	ایستگاه ۴
۱۰/۰۷	۲/۲۵	۱/۹۵	۶/۹۵	بیشینه
۶/۷	۰/۵	۱/۱۷	۴/۳۵	کمینه
۸/۵۱۵	۱/۵۶	۱/۵۴	۵/۷۱	میانگین

با توجه به مقادیر بدست آمده E_f^i برای فلز روی در جدول ۴، بیشترین مقدار E_f^i روی مربوط به ایستگاه ۱ (۱/۹۵) و کمترین آن مربوط به ایستگاه ۴ (۱/۱۷) می‌باشد. مقادیر این شاخص برای فلز روی در ایستگاه‌های ۱ و ۳ بیشتر از میانگین (۱/۵۴) این شاخص در تمام ایستگاه‌هاست و در ایستگاه‌های ۲ و ۴ کمتر از میانگین این شاخص است. ترتیب E_f^i روی در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۱ < ایستگاه ۳ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۴ می‌باشد. با مقادیر E_f^i برای فلز روی و رده‌بندی هاکانسون (1980)، برای همه ایستگاه‌ها مقادیر این شاخص دارای ریسک اکولوژیکی کم ($E_f^i < 40$) است. مقادیر بدست آمده E_f^i برای فلز سرب نشان-

مطابق جدول ۶، حداکثر مقدار همبستگی بین فلزات، بین فلزات آهن و نیکل ($r=0.838$; $p<0.01$) است. جفت فلزات نیکل و آهن ($r=0.838$; $p<0.01$)، آهن و سرب ($r=0.804$; $p<0.05$) و همچنین نیکل و سرب ($r=0.734$; $p<0.05$) دارای همبستگی مثبت و بالایی می‌باشند که مبین تشابه و ارتباطات آماری احتمالی زوج عناصر در منطقه مورد بررسی است. در حالی که روی همبستگی‌های معنی‌داری با این فلزات نشان نمی‌دهد. علاوه بر این، با توجه به جدول ضریب همبستگی، TOM % به ترتیب با سه فلز آهن ($r=0.894$; $p<0.01$)، سرب ($r=0.851$; $p<0.01$) و نیکل ($r=0.782$; $p<0.05$) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. در حالی که فلز روی هیچ‌گونه ارتباطی با مقادیر TOM % ندارد. همچنین، فلز نیکل همبستگی مثبت و معنی‌دار بالایی با درصد ذرات ریزدانه (سیلت+رس) ($r=0.824$; $p<0.05$) دارد. در حالی که سه فلز دیگر با درصد سیلت+رس هیچ‌گونه ارتباط و همبستگی‌ای ندارند.

دندوگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای ضرایب همبستگی در شکل ۲ نشان می‌دهد که دو خوشه اصلی از ارتباطات عنصری شناسایی شده است. خوشه A مبین همبستگی آماری مثبت و معنی‌دار بالای نیکل، آهن و سرب با یکدیگر است، از این‌رو در یک خوشه قرار گرفته‌اند. در خوشه دیگر (B)، فلز روی قرار دارد که با سه فلز دیگر در ارتباط نیست.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

ترتیب PLI در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۱ < ایستگاه ۴ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۳ می‌باشد. اگرچه مقادیر PLI کمتر از یک می‌باشند و نشان‌دهنده این است که بار یا غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه است، ولی بالاتر بودن مقدار PLI در ایستگاه ۱ نسبت به بقیه ایستگاه‌ها، می‌تواند متاثر از نزدیکی به شهر بندرعباس و آلودگی‌های شهری ناشی

ERM (۴۱۰ ppm) است؛ و میانگین غلظت سرب پایین‌تر از استانداردهای ERL (۴۶/۷ ppm) و ERM (۲۱۸ ppm) است.

جدول ۵: مقایسه میانگین غلظت‌های فلزات سنگین در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور با استانداردهای کیفیت رسوب (ug/g)

مصب رودخانه شور	ERM ^۲	ERL ^۱	
۷۷/۶۳	۵۱/۶	۲۰/۹	نیکل (Ni)
۱۴۶/۴۲	۴۱۰	۱۵۰	روی (Zn)
۶/۱۲	۲۱۸	۴۶/۷	سرب (Pb)
مطالعه حاضر	استاندارد آمریکا NOAA Long et al., 1995	استاندارد آمریکا NOAA Long et al., 1995	منبع

به منظور درک مناسب از ارتباطات آماری غلظت آلاینده‌های مشاهده‌ای، در این بخش نتایج حاصل از قرائت آلاینده‌ها در رسوبات مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا نسبت به محاسبه ضرایب همبستگی دوتایی مشخصه‌های کیفی در رسوبات اقدام شده است. سپس مقادیر محاسبه شده از این ضرایب برای توسعه دیاگرام آنالیز خوشه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. ضرایب همبستگی عناصر سنگین در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور با آزمون همبستگی پیرسون به منظور تفسیر آماری رابطه عناصر سنگین با یکدیگر و با برخی مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات و تعیین منبع عناصر استفاده شده است. مقادیر این ضرایب همبستگی در جدول ۶ ارائه شده است.

^۱ Effect Range Low

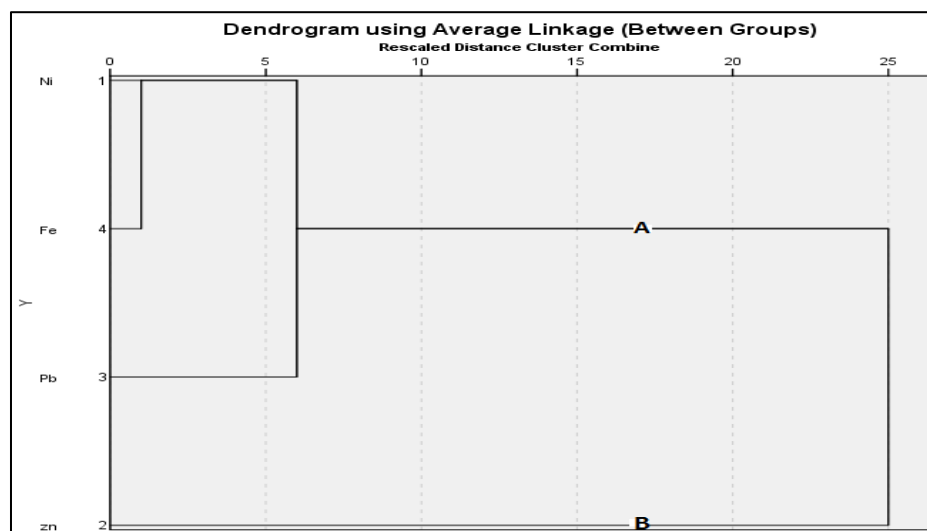
^۲ Effect Range Medium

از این شهر باشد. با توجه به تجمعی بودن مقادیر این فلزات سنگین مورد مطالعه آلودگی خاصی را مطرح نمی‌نمایند. شاخص برای تمام منطقه مورد مطالعه، خوشبختانه

جدول ۶: ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین، TOM% و ذرات دانه‌ریز

فلزات سنگین و مشخصات رسوبی	Ni	Zn	Pb	Fe	TOM%	silt+clay%
Ni	۱	-۰/۶۰۵	۰/۷۳۴*	۰/۸۳۷**	۰/۷۸۲*	۰/۸۲۴*
Zn	-۰/۶۰۵	۱	-۰/۵۲۲	-۰/۴۵۱	-۰/۶۹۹	-۰/۱۶۳
Pb	۰/۷۳۴*	-۰/۵۲۲	۱	۰/۸۰۴*	۰/۸۵۱**	۰/۴۸۸
Fe	۰/۸۳۷**	-۰/۴۵۱	۰/۸۰۴*	۱	۰/۸۹۴**	۰/۶۲۲
TOM%	۰/۷۸۲*	-۰/۶۹۹	۰/۸۵۱**	۰/۸۹۴**	۱	۰/۴۸۰
silt+clay%	۰/۸۲۴*	-۰/۱۶۳	۰/۴۸۸	۰/۶۲۲	۰/۴۸۰	۱

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ** همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ n=۱۲



شکل ۲: دندوگرام آنالیز خوشه‌ای ضرایب همبستگی بین فلزات سنگین

می‌باشد. ترتیب E_f^i روی در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۱ < ایستگاه ۳ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۴ می‌باشد. این مطلب بیانگر بالاتر بودن مقادیر فلز روی در ایستگاه‌های نزدیک به شهر بندرعباس و تاثیرپذیری غلظت‌های فلز روی از آلودگی‌های ناشی از این شهر می‌باشد. مقادیر این شاخص دارای ریسک اکولوژیکی کمی در منطقه مورد مطالعه است. ترتیب E_f^i سرب در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۲ < ایستگاه ۴ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۳ می‌باشد. این مطلب نشان-

ترتیب E_f^i نیکل در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۴ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۳ می‌باشد. برای همه ایستگاه‌ها مقادیر این شاخص برای نیکل دارای پتانسیل ریسک اکولوژیکی کمی است. همچنین مقادیر این شاخص در ایستگاه ۳ که با فاصله از ساحل قرار دارد، کمتر از ایستگاه‌های نزدیک به ساحل می‌باشد، که تاییدکننده تاثیر بیشتر منشاء زمین‌زادی فلز نیکل نسبت به آلودگی‌های انسان‌زاد

هدف از تعیین استانداردهای کیفیت زیست‌محیطی، حفظ سلامتی انسان یا زیست‌بوم‌ها است. شاخص‌های کیفیت زیست‌محیطی و استانداردهای تعیین شده مشخص می‌نمایند که، غلظت بیش از حد آلاینده موردنظر مضر است. مقادیر غلظت‌های فلزات سنگین اندازه‌گیری شده با تعدادی از این استانداردها مقایسه شده است. که نتایج آن به تفصیل در ادامه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است:

میانگین غلظت نیکل بالاتر از استانداردهای ERL و ERM است. از آنجایی که مقادیر نیکل از حد معمول این استانداردها در همه سطوح تجاوز نموده است، اثرات مضر زیادی برای آبزیان و جوامع بیولوژیک دارد و می‌تواند تهدید جدی برای سلامت محیط‌زیست و موجودات منطقه را به دنبال داشته باشد و نیازمند نظارت بیشتری در منطقه می‌باشد؛ و میانگین غلظت فلزات روی و سرب در منطقه مورد مطالعه پایین‌تر از مقدار استانداردهای ERL و ERM برای هر کدام از این فلزات است. بنابراین می‌توان گفت که غلظت این دو فلز در رسوبات منطقه مورد مطالعه براساس این دو استاندارد، تهدید خاصی را برای موجودات مختلف ایجاد نمی‌کند. ضریب همبستگی عناصر در محیط رسوبی جهت تشخیص ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی کمک کند. همبستگی‌های بالا بین فلزات سنگین خاص در رسوبات ممکن است سطوح مشابهی از آلودگی و / یا آزاد شدن از منابعی یکسان از آلودگی را منعکس کند (Hakanson & Jansson, 1983; Li *et al.*, 2009; Yi *et al.*, 2011; Guo & He, 2013). در این تحقیق برای تعیین روابط بین عناصر مختلف از ضرایب همبستگی پیرسون استفاده شده است.

محاسبه همبستگی‌های آماری از غلظت‌های مشاهده شده در این منطقه، گویای حداکثر مقدار همبستگی در میان فلزات، بین فلزات آهن و نیکل است. جفت فلزات نیکل و آهن، آهن و سرب و همچنین نیکل و سرب

دهنده عدم تاثیرپذیری مقادیر فلز سرب از آلودگی‌های شهری بندرعباس می‌باشد، چرا که ایستگاه ۲ به دلیل نبود منبع مشخص آلودگی در بالادست رودخانه تحت تاثیر آلودگی انسانی قرار نگرفته و در دهانه ورودی رودخانه به دریا قرار دارد، دارای بیشترین مقدار این شاخص است که منشاء طبیعی و زمین‌زاد بودن سرب را مشخص می‌کند. همچنین ایستگاه ۳ که نسبت به ایستگاه‌های دیگر با فاصله بیشتری از ساحل قرار دارد، دارای کمترین مقدار از این شاخص است. برای همه ایستگاه‌ها مقادیر این شاخص دارای ریسک اکولوژیکی کم است.

ترتیب RI در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، ایستگاه ۴ < ایستگاه ۱ < ایستگاه ۲ < ایستگاه ۳ می‌باشد. در این شاخص نیز ایستگاه‌های مجاور ساحل مقادیر بیشتری از ایستگاه ۳ که با فاصله از ساحل قرار دارد، داشتند. در این شاخص، ایستگاه ۴ دارای بیشترین مقدار است که علت آن را می‌توان به بالا بودن مقدار نیکل در این ایستگاه و بالاتر بودن ضریب پاسخ سمیت E_r^I نیکل نسبت دارد. طبق طبقه‌بندی هاکنسون (1980)، تمام ایستگاه‌ها دارای ریسک اکولوژیکی کمی می‌باشند. با توجه به تجمعی بودن مقادیر این شاخص برای تمام منطقه مورد مطالعه، اگرچه خوشبختانه فلزات سنگین مورد مطالعه ریسک اکولوژیکی کمی را مطرح می‌نمایند، اما باید منطقه مورد مطالعه به دلیل قرار گرفتن در مصب و همچنین وجود جنگل‌های مانگرو که هر کدام به‌صورت جداگانه از لحاظ اکولوژیکی بسیار حائز اهمیت می‌باشند، این منطقه و موجودات زنده این اکوسیستم به‌صورت مداوم مورد پایش قرار گیرند، تا آلودگی‌های انسان‌زاد، حیات این اکوسیستم را به‌خطر نیندازند.

با توجه به سمیت فلزات سنگین و اثرات آنها بر موجودات زنده، جهت تعیین میزان آلاینده‌ی رسوب به عناصر سنگین در یک منطقه، بایستی غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود.

دندوگرام‌ها و برای شناسایی گروه‌های نسبتاً همگن از متغیرهای با ویژگی‌های مشابه انجام شد. ارتباط عنصری دلالت می‌کند که هر زوج عنصر دارای منبع یکسان یا مخزن مشترک در رسوبات دریایی است (Singh *et al.*, 2002; Nyangababo *et al.*, 2005; Mashiattullah *et al.*, 2013).

دندوگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که دو خوشه اصلی از ارتباطات عنصری شناسایی شده است. خوشه A مبین همبستگی آماری مثبت و معنی‌دار بالای نیکل، آهن و سرب با یکدیگر است، از این‌رو در یک خوشه قرار گرفته‌اند. که این تشابهات آماری بالای نیکل، آهن و سرب با یکدیگر و ارتباط آماری مشترک این عناصر نشان‌دهنده منشأ یکسان آلودگی است که احتمالاً ناشی از منابع طبیعی است. در خوشه دیگر (B)، فلز روی قرار دارد که با سه فلز دیگر در ارتباط نیست. این عدم همبستگی‌ها و تشابهات آماری میان روی با فلزات سنگین مورد مطالعه، به طور محتمل نشان‌دهنده منابع غیرمشترک این آلاینده در مقایسه با فلزات دیگر در منطقه است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان داشت استفاده از شاخص‌های کیفی تجمعی همراه آنالیزهای آماری مانند CA در ارزیابی دقیق‌تر وضعیت آلودگی رسوبات نتایج ارزشمندی به‌دست خواهد داد.

به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی، تجمع فلزات در محاسبه این دو شاخص از مهم‌ترین مزایای استفاده شاخص‌های بار آلودگی و شاخص ریسک اکولوژیکی است که ممکن است با کاهش حجم داده‌های نهایی تفسیرپذیر، سهولت سنجش و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و اولویت مدیریت آلودگی در اکوسیستم‌های آبی را همراه داشته باشد و ارزیابی قابل قبولی از وضعیت احتمالی آلودگی رسوبات به فلزات سنگین ارائه دهد. وجود وضعیت عمومی غیرآلوده و یا آلودگی کم حال حاضر رسوبات به آلاینده‌های فوق، و جلوگیری از غنی شدن رسوبات بالاتر از سطح پیشین در منطقه بر

دارای همبستگی مثبت و بالایی می‌باشند؛ که مبین تشابه و ارتباطات آماری احتمالی زوج عناصر در منطقه مورد بررسی است. چنین تشابهی می‌تواند دلیلی احتمالی بر منابع آلودگی مشابه و یا منشأ طبیعی این فلزات در رسوبات آنالیز شده باشد. در حالی‌که روی همبستگی‌های معنی‌داری با این فلزات نشان نمی‌دهد. نبود همبستگی میان فلز روی با فلزات دیگر نشان‌دهنده این است که این فلز با فلزات یکدیگر در ارتباط نیست و نیز اینکه فلز روی دارای منشأ متفاوت و مستقل است که احتمالاً دارای منشأ انسانی و همچنین طبیعی مختلف می‌باشد و یا دارای فاکتورهای کنترل متفاوت از فلزات دیگر می‌باشد.

علاوه بر این، با توجه به جدول ضریب همبستگی، TOM% به‌ترتیب با سه فلز آهن، سرب و نیکل همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد، که مبین این مطلب است که غلظت‌ها و مقادیر این فلزات می‌تواند در ارتباط و متأثر از این مشخصه رسوب در منطقه مورد مطالعه باشد. در حالی‌که فلز روی هیچ‌گونه ارتباطی با مقادیر TOM% ندارد. همچنین، فلز نیکل همبستگی مثبت و معنی‌دار بالایی با درصد ذرات ریزدانه (سیلت+رس) دارد، که بیان‌کننده تأثیر این مشخصه بر روی مقادیر غلظت نیکل می‌باشد. در حالی‌که سه فلز دیگر با درصد سیلت+رس هیچ‌گونه همبستگی‌ای ندارند. با توجه به مطالب شرح داده شده، می‌توان بیان کرد که، فلز روی هیچ‌گونه ارتباط و همبستگی‌ای با فلزات دیگر و دو مشخصه دیگر رسوبات در منطقه مورد مطالعه ندارد. مقادیر فلزات آهن و سرب در ارتباط با مقادیر TOM% است و ذرات ریزدانه هیچ ارتباطی بر غلظت این فلزات ندارد. غلظت‌های فلز نیکل اگرچه به مقدار بالایی متأثر از TOM% است، ولی ذرات ریزدانه به دلیل ضریب همبستگی بیشتری که نسبت به مواد آلی کل با نیکل دارند، تأثیر بیشتری بر غلظت فلز نیکل دارند. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای طبقه‌بندی عناصر از منابع مختلف بر اساس تشابه آنها با استفاده از

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از مسئولین آزمایشگاه‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس به دلیل فراهم کردن امکانات آزمایشگاهی جهت انجام این پژوهش کمال تشکر را داشته باشند.

اثر فعالیت‌های انسانی توجه بیشتر مسئولان منطقه‌ای را به منابع ورودی این آلاینده‌ها برای پرهیز از آلودگی‌های جدی‌تر این رسوبات در آینده طلب می‌کند.

تشکر و قدردانی

منابع

- Abraham, G.M.S., Parker, R.J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*. 136(1-3): 227-238.
- Acosta, J.A., Faz, A., Mrtinez, S.M. 2009. Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain), *Environmental Monitoring and Assessment*. 169(1): 519-530.
- Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G. & Stanzione, D. 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city Port. *Chemosphere*. 61(6): 800-809.
- Adomako, D., Nyarko, B.J.B., Dampare, S.B., Serfor- Armah, Y., Osae, S., Fianko, J.R. & Akaho, E.H.K. 2008. Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*. 141(1-3): 165- 175.
- Agah, H., Leermakers, M., Gao, Y., Fatemi, S.M.R., Mohseni Katal, M., Baeyens, W. & Elskens, M. 2010. Mercury accumulation in fish species from the Persian Gulf and in human hair from fishermen. *Environmental Monitoring and Assessment*. 169(1-4): 203-216.
- Alizadeh, M. 2008. *Aquiculture and Environment*. Fisheries Research Center Press, Tehran, pp. 314. (In Persian)
- Berkowitz B., Dror I, Yaron B. 2008. *Contaminant Geochemistry: Interactions and Transport in the Subsurface Environment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 412 p.
- Bowen, H.J.M. 1966. *Trace elements in biochemistry*, Academic Press London.
- Casado-Martinez, M.C., Forja, J.M. & DelValls, T.A. 2009. A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports. *Journal of Hazardous Materials*. 163(2-3): 1353-1359.
- Casas, J.M., Rosas, H., Sole, M. & Lao, C. 2003. Heavy matalas and metalloids in sediments from the Llobregat basin, Spain. *Environmental Geology*. 44(3): 325-332.
- Choueri, R.B., Cesar, A., Torres, R.J., Abessa, D.M.S., Morais, R.D., Pereira, C.D.S., Nascimento, M.R.L., Mozeto, A.A., Riba, I & DelValls, T.A. 2009. Integrated sediment quality assessment in Paranagua´ Estuarine System, Southern Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72: 1824-1831.
- De Mora S. Sheikholeslami MR. 2002. Contaminant screening program. Final report. Interpretation of Caspian Sea Sediment Data; pp 27.
- Delman, O., Demirak, A. & Balci, A. 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the southeast ern Aegean sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*. 95(1): 157-162.
- Department of Environment (DOE), Branch of Hormozgan province. 2009. Introduction of Wetlands in the East of Hormozgan province. (In Persian)
- Gargouri, D., Azri, Ch., Serbaji, M. M., Jedoui, Y & Montacer, M. 2011. Heavy metal concentrations in the surface marine sediments of Sfax Coast, Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 175: 519-530.
- Ghrefat, H., Yusuf, N. 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*. 65(11): 2114-2121.
- Guo, R., He, X. 2013. Spatial variations and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments on the upper reaches of Hun River, Northeast China. *Environmental Earth Sciences*. 70: 1083-1090.

- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8): 975–1001.
- Hakanson, L., Jansson, M. 1983. *Principles of lake Sedimentology*. Springer, Berlin.
- Ismail, A. 1993. Heavy metal concentration in sediments of Bintulu, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*. 26: 706–707.
- Jafari Haghighi, M. 2003. Methods of soil analysis: physical and chemical sampling and important chemical and physical analysis with emphasis on theory and practice. pp 236. (In Persian)
- Jamshidi Zanjani, A., Saidi, M. 2013. Contamination assessment and zoning quality of surface sediment of Anzali Wetland base on result of heavy metals indices. *Ecology*. 39(4): 157-170. (In Persian)
- Kabata-Pendias A., Mukherjee, A.B. 2007. *Trace Elements from Soil to Human*, Springer Berlin Heidelberg New York.
- Khaled, A., ElNemr, A., ElSikaily, A. 2006. An assessment of heavy metal contamination in surface sediments of the Suez Gulf using geoaccumulation indexes and statistical analysis. *Chemistry and Ecology*. 22(3): 239-252.
- Khedhiri, S., Semhi, K.h., Duplay, J. & Darragi, F. 2011. Comparison of sequential extraction and principal component analysis for determination of heavy metal partitioning in sediments: the case of protected Lagoon El Kelbia (Tunisia). *Environmental Earth Sciences*, 62: 1013–1025.
- Kwon, Y. T., Lee, C.W., 1998. Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area. *Science of the Total Environment*. 214: 203-210.
- Li, J., He, M., Han, W., Gu, Y. 2009. Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. *Journal of Hazardous Materials*. 164(2-3):976–981.
- Liu, M., Yang, Y., Yun, X., Zhang, M., Li, Q. X., Wang, J. 2013. Distribution and ecological assessment of heavy metals in surface sediments of the East Lake, China. *Ecotoxicology*. 23:92-101.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., & Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. 19(1): 81–97.
- Long, E.R., Morgan, L.G. 1990. The potential for biological effects of sediment sorbed contaminants tested in the National States and Trends Program. National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) Technical Memorandum No.5, OMA52, NOAA National Ocean Service Washington. 68p.
- Mashiatullah, A., Chaudhary, M.Z., Ahmad, N., Javed, T., Ghaffar, A. 2013. Metal pollution and ecological risk assessment in marine sediments of Karachi Coast, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185:1555–1565.
- McGraph, D., Zhang, C.S., Carton, O., 2004. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines, area Ireland. *Environmental Pollution*. 127: 239-248.
- Mucha AP. Vasconcelos MT. Bordalo A.A. 2003. Macrobenthic community in the Douro estuary: relations with trace metals and natural sediment characteristics, *Environmental Pollution*; 121: 169-180.
- Naji, A., Ismail, A. 2012. Sediment quality assessment of Klang Estuary, Malaysia. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 15(3): 287–293.
- Nriago JO. Pacyna JM. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*; 333: 134-139.
- Nyangababo, J.T., Henry, L., & Omutunge, E. 2005. Heavy metal contamination in plants, sediments and air precipitation of Katonga, Simiyu and Nyando wetlands of Lake Victoria Basin, East Africa. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 75(1): 189–196.
- Qishlag, A., Moore, F., Forghani, G. 2007. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 141(1-3): 257- 273.
- Reynolds, R.M. 1993. Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz and the Gulf of Oman- Results from Mt Mitchell Expedition. *Marine pollution Bulletin*. 27: 35-59.
- Seralathan, P., Meenakshikutty, N.R., Asaref, K.V. & Padmalal. D. 1993. Sediment and organic carbon distribution in the Cochin harbor

- area. *Indian Journal of Marine Science*. 22(4):225–252.
- Singh, K.P., Mohan, D., Singh, V.K., Malik, A. 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments a tributary of the Ganges. *Journal of Hydrology*. 312(1-4): 14-27.
- Singh, M., Muller, G., Singh, B.I. 2002. Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanization of the Ganga plain, India. *Water, Air and Soil Pollution*. 141(1-4): 35- 54.
- Spanos, T., Simeonov, V., Simeonova, P., Apostolidou, E & Stratis, J. 2008. Environmetrics to evaluate marine environment quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 143(1-3): 215–225.
- Spencer, K.L., Macleod, C.L. 2002. Distribution and Partitioning of Heavy Metals in Estuarine Sediment Cores and Implications for the Use of Sediment Quality Standards. *Hydrology and Earth System Science*. 6: 989-998.
- Steiger, B., Webster, R., Schulin, R., Lehmann, R., 1996. Mapping heavy metals in polluted soil by disjunctive kriging. *Environmental Pollution*. 94: 205-215.
- Tam, N.F.Y., Wong, Y.S. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 110(2): 195-205.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harriss, C.R. & Jeffrey, D.W. 1980. Problems in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*. 33(1-4): 566-575.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*. 72(2): 175–92.
- Varol, M. 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*. 195: 355– 364.
- Vertacnik A, Prohic E, Kozar S, Juracic M. 1995. Behavior of some trace elements in alluvial sediments, Zagreb water-well field area, Croatia. *Water Research*. 29: 237-46.
- Wei, Binggan., Jiang, Fengqing., Li, Xuemei & Mu, Shuyong. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160: 33–45.
- Wu, Z., He, M., Lin, C., Fan, Y. 2011. Distribution and speciation of four heavy metals (Cd, Cr, Mn and Ni) in the surficial sediments from estuary in daliao river and yingkou bay. *Environmental Earth Sciences*, 63: 163–175.
- Wu, Z., He, M., Lin, C., Fan, Y. 2011. Distribution and speciation of four heavy metals (Cd, Cr, Mn and Ni) in the surficial sediments from estuary in daliao river and yingkou bay. *Environmental Earth Sciences*. 63: 163–175.
- Yi, Y., Yang, Z. & Zhang, S. 2011. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159(10): 2575–2585

Assessment of Heavy Metals Contamination in Surface Sediments of Shoor River Estuary, East of Bandar Abbas by using Different Indexes

Mehrshad Bahador^{*1}, Abbas Moradi², Abolfazl Naji³

1. land use planning assessment

2. coastal planning and management, Hormozgan University

3. Natural science and Environment, Mangrove Forest research Center, Hormozgan University

Abstract

Toxicity of trace metals in the environment, bioaccumulation in aquatic environments and in food chains are of great importance. This study concentrates on the distribution patterns of some heavy metals (Pb, Ni, Zn and Fe) in surface sediments of Shoor River estuary. In order to determine the degree of Contamination and environmental quality of region sediments, surface sediment (0-5 cm) samples were collected from 4 stations. At each station, three surface sediment samples were collected and the concentration of heavy metals were measured using a flame Atomic Absorption Spectrophotometer; Then indexes such as the Pollution Load Index (PLI) and Potential ecological risk index (RI) for each of the sampling stations and study area applied. The results of PLI represented the low accumulation of studied metals in the surface sediments of the area. Potential ecological risk was also low. The results indicated that Zn and Ni were mainly from anthropogenic discharge, while a significant portion of Pb and Fe were likely from natural inputs. Overall, frequent adverse effects were expected for Ni and occasional adverse biological effects are expected for Zn, whereas for Pb and Fe rare adverse biological effects are expected. Pearson's correlation indicated that there was positive correlation between Ni, Pb, Fe, TOM and fine grain size ($p < 0.01$). Nevertheless, due to rapid urbanization and industrial development of Bandar Abbas, monitoring of heavy metals contamination in the study area due to its ecological importance is necessary.

Keywords: Heavy metals; Bandar Abbas; Contamination; sediment.

Table 1. The geographical location of sampling Stations

Figure 1. The location of study area and sampling Stations of sediments

Table 2. Categories of E_f^i and RI (Hakanson, 1980)

Table 3. CF and PLI of surficial sediments in study area

Table 4. Potential ecological risk index (RI) of surficial sediments in study area

Table 5. Comparison of the mean of heavy metals concentrations in surface sediments of Shoor River estuary with sediment quality guidelines (ug/g)

Table 6. Pearson's correlation coefficient between heavy metals, %TOM and Fine grain-size

Figure 2. Cluster analysis dendrogram of correlation coefficient between heavy metals

*Corresponding author, E-mail: mehrshadbahador@gmail.com